

## 超軽量・フレキシブル化を目指した有機電子デバイスの応用展開

研究代表者 理工学研究部（工学系） 岡田 裕之

### (1) プロジェクトの背景・目的

大面積化可能、超軽量、省スペース、フレキシブル等の特徴を有する有機デバイスの研究が活発化しており、有機トランジスタ、有機太陽電池、有機フォトダイオード等の新規デバイス開発が注目されている。また、応用製品である電子ペーパーや情報タグなどの市場は、数兆円規模に達すると試算される。ここで、これら有機デバイスの実現には、低コスト・大面積化可能なデバイスプロセス技術と、それが適用された応用製品の開発が必要不可欠である。本プロジェクトでは、これまで開発してきた自己整合有機 EL 素子・トランジスタ技術と両面発光・複合機能マトリクスパネルを発展させ、必要となる補強・周辺技術を確立することで、実用的な複数の高機能有機デバイスを実現することを目的とする。

さらには、高機能部材を組込んだ製品として、大面積発光・フレキシブルの性質を持つテープ事業群、シート事業群、パネル事業群等、将来的な電子情報、自動車産業の基本となる有機デバイスへの応用展開を目指す。

### (2) 研究成果

#### (a) 有機 EL 素子関連

第1に、フレキシブル有機 EL 素子作製で課題となっている塗布型プロセスでの均一性改善法を提案し、初期的改善を検討した。有機 EL 素子の形成法には蒸着法と塗布法が有る。現在、量産に用いられている方式は、特性が良好で、かつ信頼性の高い蒸着法が主流だが、装置が高価でありメータサイズの大型化が難しい。それに対し塗布法では、大面積に安価なプロセスで対応可能であり、材料利用率も高い。しかしながら均一な膜形成が困難であった。本問題を解決するために、不均一となる膜乾燥時の材料凝集を抑えられないかと考えた。そのとき、勿論溶媒乾燥の問題も有るが、全面に均一に供給された材料を移動させず、そのままの位置に存在させることが重要と考え、基板自身を振動させることでそれが可能では無いかとの発想に至った。素子作製には、当研究室で報告してきたペイント法[1]の延長となるローラー法を用いた。図1に作製法の概略を示す。溶液を染みこませたローラーを基板に押しつけ、基板を移動することで均一膜形成を行う。図2に、使用した振動ステージを示す。ピエゾ素子を持つ構造とし、今回は縦方向の振動を加えた。図3に、試作した IZO/PEDOT/

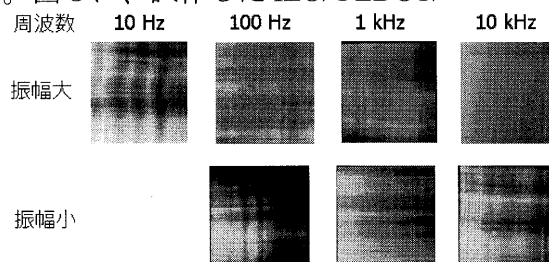
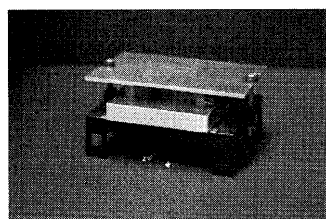
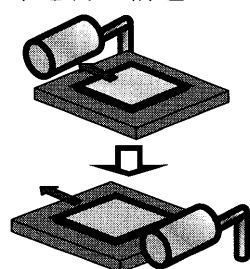


図1 ローラー法

図2 振動ステージ

図3 EL 発光写真

(PVCz:BND:C6、ローラー法+振動で形成)/ LiF/Al 構造の 3 cm 角発光写真を示す。周波数を上昇させることで、また振幅を大とすることで発光均一性が改善し、周波数 10 kHz で良好な均一性が得られた。現在、本内容について特願 2006-313024 を出願済みで、平成 19 年春季応用物理学関係連合講演会、SPIE Optics & Photonics 2007 国際会議で講演予定である。

第 2 に、有機 EL 素子の作製簡略化を狙い、インクジェットプリント(IJP)法を用いた自己整合有機 EL 素子[2]のマルチカラー化を検討した。図 4 に、自己整合 IJP の工程を示す。作製では、ITO 付ガラス基板上に PMMA 絶縁膜を塗布し、りん光有機発光材料である Ir(ppy)<sub>3</sub>(緑)、FIrpic (青)、btp<sub>2</sub>Ir(acac) (赤)を IJP 形成した。装置は、共同研究機関であるブラザー工業製である。このとき、IJP 形成したドット部で絶縁膜が溶解し、乾燥過程で塗布した発光材料から成る膜が形成されることで、開口部と発光部が自動的に位置合わせされた、すなわち自己整合有機 EL 素子形成が出来る。続いて、LiF/Al 陰極を蒸着形成することで、素子が完成する。現在、最高輝度として、緑、青、赤の発光で、各々、2,000、2,360、518 cd/m<sup>2</sup> が得られており、赤の輝度向上が課題である。図 5 に、10 cm 角基板上に形成した素子の発光パターンを示す。全素子が同一電圧であるが、特に見劣り無く全色の発光が確認できた。本成果については、KJF2006 国際会議で発表済みで、MCLC で論文印刷中である。また、平成 19 年春季応用物理学関係連合講演会で講演予定である。

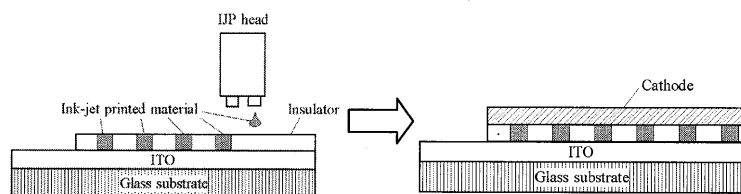


図 4 自己整合 IJP 法

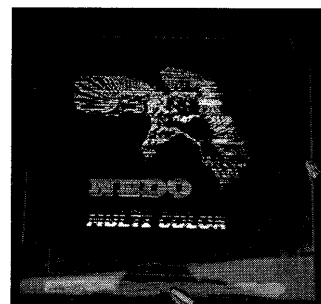


図 5 発光パネル(10 cm 角)

第 3 に、発光と受光機能を一つのデバイスで実現できる多機能ダイオード[3]と、自己整合 IJP を組合せることでデバイス作製を実施してきたが、本成果について KJF2006 国際会議で発表し、MCLC へ論文投稿し採択・印刷中である。

第 4 に、両面発光有機 EL パネル[4]の実用化へ向けた検討として、マトリクス駆動回路の設計とパネルのフレキシブル化について検討した。図 6 に、検討した駆動回路を示す。走査信号一つに対し、駆動信号を両側から上下デバイスへ送り込む形となっている。図 7 には、フレキシブル化された両面発光パネルの発光写真を示す。パネルの下にミラーを配置し、緑、青の発光を得ている。続くデバイス構造による信頼性評価を実施中で、初期輝度 1,000 cd/m<sup>2</sup> 時の強い加速条件下での輝度半減時間 78 hr を得ている。更なる寿命向上が課題となる。

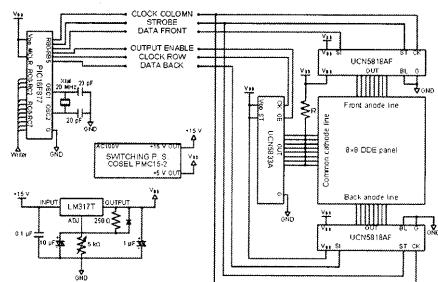


図 6 設計した駆動回路

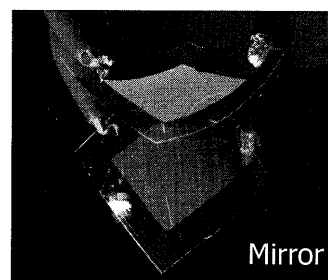


図 7 フレキシブル両面発光パネル

第5に、有機EL素子の信頼性向上へ向けた検討として、洗浄工程の差による有機EL素子発光の均一性改善と信頼性調査を実施した。図8に、発光パターン（上）とITO電極上のAFM像（下）を示す。洗浄処理無と比較し、処理を行うことで平坦性は向上し、輝度の上位ビットを切出し評価した発光パターンの均一性が向上した。図9には信頼性評価結果を示す。処理無しの輝度半減時間が607 hrに対し、処理を実施しても600 hr台と向上は見られず、ITO表面平坦性以外のモードが劣化の原因となっている。今後、劣化モード解明が課題となる。

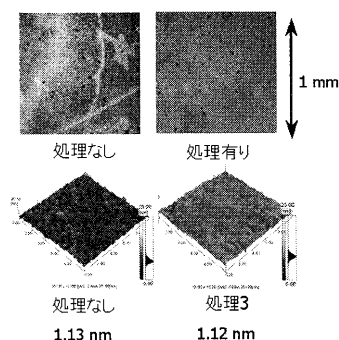


図8 洗浄工程による発光の差

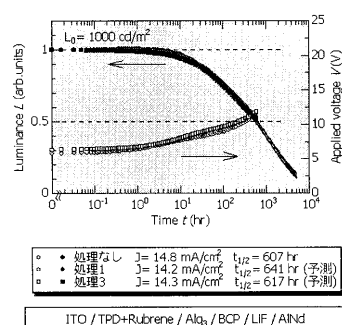


図9 信頼性評価結果

## (b) 有機トランジスタ関連

第1に、有機トランジスタ用半導体膜の平坦化法の検討を行った。代表的な有機半導体としてペンタセンが挙げられる。形成法は、専ら蒸着法が検討されており、厚膜形成を行うとデンドライド構造へ変化することが報告されている。それに対し、(ペンタセン/絶縁膜)×n有機超格子構造を適用することで、ペンタセンの平坦性を改善できることを明らかにした。

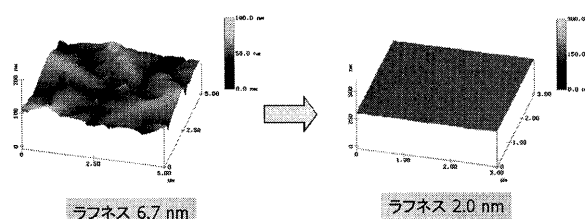


図10 AFM観察像

図10に、通常蒸着と有機超格子構造を持つペンタセンのAFM像比較を示す。通常、6.7 nmの平均ラフネスを示すのに対し、超格子構造では2.0 nmと改善された。本構造は、平坦性改善によるチャネル厚増大と、キャリア閉じ込め構造による有機半導体特性改善の可能性を秘めており、今後、種々のパラメータ依存性を検討してゆく。本内容に関して、現在特許化へ向けた検討中であり、結果を平成19年春季応用物理学関係連合講演会、EM-NANO2007 国際会議で報告してゆく予定である。

第2に、過去提案した自己整合有機トランジスタ[5]の、フレキシブル基板上での試作を考え、全てのパターン位置合せを最初に形成したパターンで行う完全自己整合トランジスタ作製を実施した。図11に、パターン設計レイアウト（左）と実際に試作したトランジスタのパターン（右）を示す。図12にトランジスタ特性を示す。チャネル長10 μm、チャネル幅3 mmでトランジスタの移動度は0.02 cm²/Vs、オンオフ比10³が確認された。現在、現在特許化検討中であり、平成19年春季応用物理学関係連合講演会、SSDM2007 国際会議で報告する。

第3に、オール有機化を狙い、ゲート、ソース・ドレイン電極にナノ粒子配線を、ゲート絶縁膜にポリイミドを持つペンタセントランジスタ試作を行った。その結果、チャネル長3 μmのオール有機トランジスタ試作で移動度0.033 cm²/Vsのトランジスタの試作を確認した。現在、性能向上を検討中である。

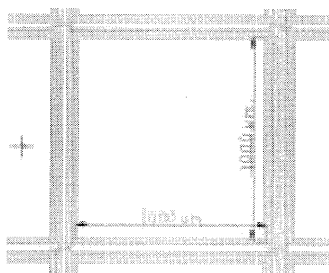


図 1 1 完全自己整合トランジスタのレイアウト  
パターンと顕微鏡写真

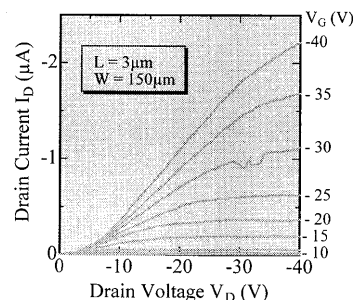
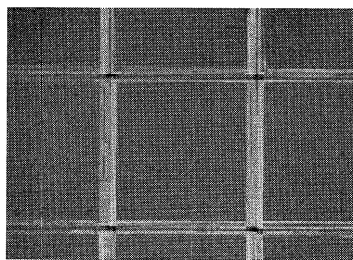


図 1 2 オール有機トランジスタ  
特性

第 4 に、集積化を考慮したポリイミド絶縁膜を持つ有機トランジスタ回路を試作した。図 1 3 に得られたトランジスタ特性とインバータ特性を示す。未だ配線抵抗が高く本格的回路試作に課題を残すが、オール有機集積回路へ向けた第一段として、今後特性改善を図る。

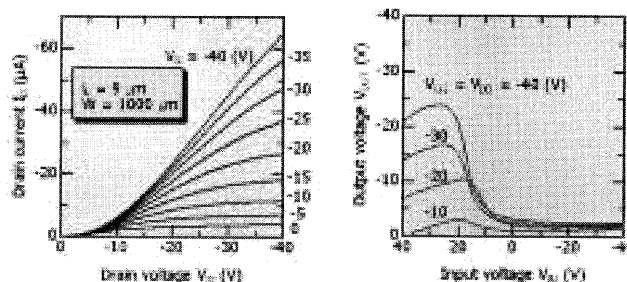


図 1 3 ポリイミド絶縁膜トランジスタ、回路特性

### (3) プロジェクト成果

特許申請 1 件他申請予定 2 件、論文 6 編、著書執筆 1 編、国際会議発表 6 件、依頼講演 9 件、展示会出展 3 件、大会発表 1 6 件で広く公開し、権利化と広報活動に努めてきた。

### (4) プロジェクト成果の応用・効果・構想

超軽量・フレキシブル化を目指した有機電子デバイスの応用展開と題し、初年度の基礎的検討を進めた。今回、有機 EL 素子、有機トランジスタに関するデバイスや回路を実現することで、次世代ユビキタスエレクトロニクスへ向けた基礎的検討が出来たものとする。

本プロジェクト関連の申請特許を基に特許の権利行使の有効活用が可能であり、製品化へ向け中部地区機関による経済産業省の新規プロジェクト「自己整合技術を用いた有機光高度機能部材の開発」を平成 18 年度～20 年度の三カ年で実施中である。本展開による支援で、より高度で完成度の高い商品群実現へと続く展開を目指す。

### (5) 利用施設

- ・超微細素子作製観察装置室
- ・超微細素子作製観察システム
- ・配線パターン形成装置
- ・デバイス評価装置
- ・極低温測定装置

### 参考文献

- 1) M. Ooe *et al.*: Jpn. J. Appl. Phys., **42**, 4529 (2003). 2) R. Sato *et al.*: Jpn. J. Appl. Phys., **43**, 7725 (2004). 3) H. Shimada *et al.*: Jpn. J. Appl. Phys., **45**, 3750 (2006). 4) T. Miyashita *et al.*: Jpn. J. Appl. Phys., **44**, 3682 (2005). 5) T. Hyodo *et al.*: Jpn. J. Appl. Phys., **43**, 2323 (2004).